Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования национальный технологический университет «Московский институт стали и сплавов».

Протасов Владислав Иванович

Теория и экспериментальные исследования систем сетевого коллективного интеллекта

Москва
2016

Актуальность

- В наше время постоянно возникают сложные задачи, которые за приемлемое время не находят решения существующими методами или превышают интеллектуальные возможности имеющихся специалистов. Происходит интенсивный эмпирический поиск методов и процедур коллективной работы, которые в ряде случаев позволяют находить решения сложных задач (методы, основанные на теории принятия решений, организация мозговых штурмов, метод Дельфи, краудсорсинг).

- В развивающейся экономике знаний до сих пор не сложилась система измерения знаний, позволяющая количественно измерять уровень подготовленности и ценности специалистов, определять цену решаемой задачи в зависимости от ее трудности и нет соответствующих единиц измерения.

- Возникла проблема построения теории систем коллективного интеллекта и измерения знаний для разработки на этой основе новых методов решения сложных задач, которые могут быть решены имеющимися в наличии специалистами и программными системами.

Проблема

Создание теории эволюционного согласования решений и оптимизация на этой основе систем коллективного интеллекта для применения в экономике, управлении и образовании.

Цели

- Разработка, обоснование новых и совершенствование существующих систем коллективного интеллекта, создание основ теории систем коллективного интеллекта на базе метода эволюционного согласования решений, определение базовых величин этой теории и создание процедур их измерения.
- Апробация разработанных систем в экономике, управлении и образовании.

Литература, конференции

1. **Condorcet, marquis Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. Essai sur l’application de l’analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix. Imprimerie Royale, Paris, 1785.** *Теорема о присяжных Кондорсе. Доказывается – если члены жюри чаще принимают правильные решения, то вероятность правильного решения, принятого большинством голосов, стремится к единице при увеличении числа присяжных.*

2. **Baharad Eyal, Goldberger Jacob, Koppel Moshe, Nitzan Shmuel. Beyond Condorcet: Optimal Aggregation Rules Using Voting Records. The Open Access Publication Server of the ZBW – Leibniz Information Centre for Economics. CESIFO WORKING PAPER NO. 3323 CATEGORY 2:PUBLIC CHOICE JANUARY 2011.** *Для увеличения вероятности правильного решения, принимаемого группой, вводятся весовые коэффициенты для членов группы, пропорциональные их измеренным компетентностям.*

3. **J. H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.** *Обосновывается метод оптимизации, использующий генетические алгоритмы.*

4. **Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации. Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1978. Вып.33. С.5-68.** *Предлагается универсальная схема построения алгоритмов распознавания в виде суперпозиций алгоритмических операторов, корректирующих операций и решающих правил.*

5. **Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции.-М.: Синтег,1993. 456 с.** *Обосновывается роль правил взаимодействия в теории метасистемных переходов.*

6. Шуровьески, Джеймс. Мудрость толпы. Почему вместе мы умнее, чем поодиночке, и как коллективный разум формирует бизнес, экономику, общество и государство: Пер. с англ. - М.: ООО "И.Д. Вильяме", 2007. - 304 с.

Обзор по коллективному разуму от Адама до наших дней. Эмпирическое формулирование принципов функционирования коллективного разум

7. Anita Williams Woolley, Christopher F. Chabris, Alex Pentland, Nada Hashmi, Thomas W. Malone. Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups // Science. 2010. V. 330 P. 686–688.

Экспериментальное подтверждение феномена коллективного интеллекта. Определены условия, при которых результат работы группы превышает средний по группе и результат лучшего из членов группы.

8. Джефф Хау. Краудсорсинг. Коллективный разум как инструмент развития бизнеса = Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd is Driving the Future of Business. — М.:«Альпина Паблишер», 2012. — 288 с. — ISBN 978-5-9614-1889-7.

Описаны процедуры сетевого взаимодействия большого количества участников коллективных проектов, введено понятие краудсорсинга, приведены примеры завершенных проектов.

9. **Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests. Copengagen, 1960, Danish Institute of Educational Research (Expanded edition, –Chicago.: Mesa Press. – 1980. – 199 p.).** *Приведена независимая от трудности заданий методика измерения подготовленности испытуемых.*

С 2012 года проводятся регулярные международные конференции, причем каждый год происходит увеличение направлений исследований - с двенадцати в 2012 году до семнадцати в 2015 г. (Proc. CI 2012, CI 2014 и CI 2015).

На конференции «Collective Intelligence 2012» была сформирована новая междисциплинарная область изучения коллективного интеллекта.

Анализ трудов этих конференций и последних публикаций авторов пленарных докладов показывает, что главным образом развиваются процедуры организации групповой работы и технологии коллективного интеллекта без построения соответствующих теорий, в отдельных случаях наблюдается применение статистических методов и теории массового обслуживания. Вводятся эмпирические балльные системы оценки результативности работы участников коллективных проектов. Большей частью изучаются психологические и социальные аспекты коллективной работы.

Вывод: **Для дальнейшего развития новой междисциплинарной отрасли исследования настоятельно требуется создание теории систем коллективного интеллекта и системы измерения компетентностей.**

Термины и определения

Актор (лат. actor - деятель) - индивид, общественная группа, институт или другой субъект, осуществляющий конкретные действия в рамках своей роли. В системах коллективного интеллекта актор может выступать в двух ролях – генерировать текст, являющимся решением какого-либо проекта или его части, либо оценивать чужие решения на их правильность. Существует три разновидности акторов:

– единичный актор (отдельный индивид), далее называемый актор нулевого ранга или просто актор;

– групповой актор *i*-го ранга – группа, объединяющая несколько акторов ***i-1*** ранга, групповой актор 1-го ранга далее называется просто групповым актором;

- цех – совокупность акторов разной подготовленности, имеющих знания в конкретной области.

Коллективный интеллект - способность группы акторов находить решения задач более эффективные, чем лучшее индивидуальное решение в этой группе. Эта способность зависит как от способностей отдельных акторов, входящих в группу, так и от правил или процедуры взаимодействия акторов в процессе работы над проектом.

Проект – продукт работы акторов, удовлетворяющий поставленной цели.

Слот – отдельная часть проекта. Слот имеет самостоятельное значение в рамках проекта и частично удовлетворяет цели проекта.

При работе над проектом слот может иметь правильное или неправильное заполнение, либо остаться незаполненным (ответ – «не знаю».

Система коллективного интеллекта – совокупность инструментальных средств и процедур, позволяющих при соблюдении определенных условий организовать коллективную работу акторов по заполнению слотов проекта правильными решениями.

МЭС (метод эволюционного согласования) – процедура заполнения слотов проекта групповым актором в соответствии с правилами взаимодействия, взятыми из генетических алгоритмов. На первой стадии – стадии генерации акторы, исходя из своих компетентностей, заполняют слоты проекта, либо оставляют некоторые из них незаполненными.

На стадиях согласования решений каждый актор получает ***L*** чужих вариантов и в соответствии со своими компетентностями по оцениванию решений выбирает правильные на его взгляд решения и заполняет ими незаполненные на предыдущей стадии слоты, либо вновь оставляет их незаполненными. Процесс заполнения слотов продолжается до тех пор, пока больше половины акторов по каждому слоту не получат одинаковые решения, или число итераций достигнет заранее заданного числа ***T*.** Если по каким-либо слотам не будет набрано больше половины одинаковых решений, то считается, что по данному слоту групповой актор дал ответ «не знаю».

Характеристики актора – считается, что актор характеризуется при работе над проектом со слотами одинаковой степени трудности четырьмя параметрами:

$\boldsymbol{G_R}$ - вероятность заполнения слота правильным ответом,

$\boldsymbol{G_N}$ - вероятность заполнения слота неправильным ответом,

$\boldsymbol{E_R}$ - вероятность правильного оценивания слота,

$\boldsymbol{E_N}$ - вероятность неправильного оценивания слота.

С этими параметрами актора можно связать четыре вспомогательных параметра, используемых в дальнейшем:

$\boldsymbol{G_S = G_R + G_N}$ - вероятность заполнения слота на стадии генерации,

$\boldsymbol{G_V = 1 - G_S}$ - вероятность ответа «не знаю» на стадии генерации,

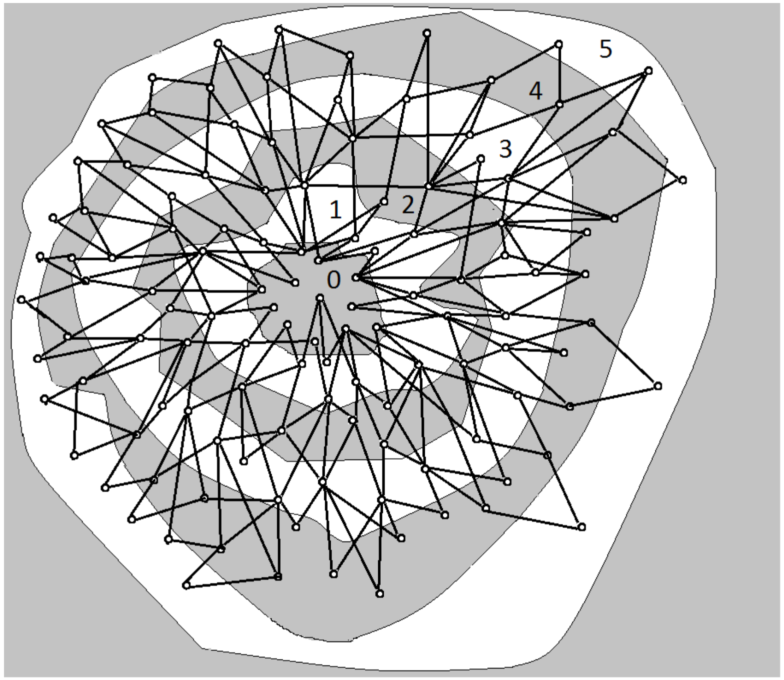
$\boldsymbol{E_S = E_R + E_N}$ - вероятность того, что слот будет заполнен при оценивании,

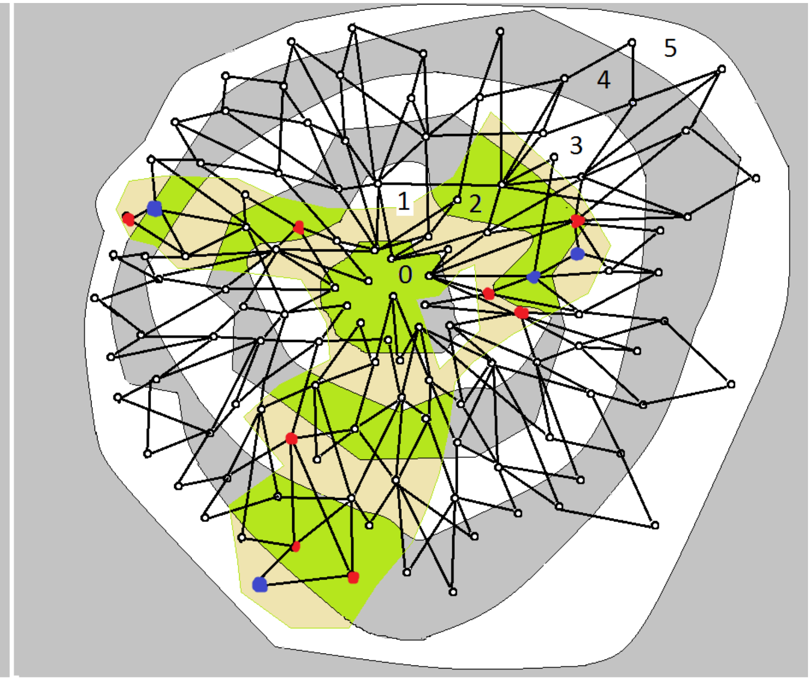
$\boldsymbol{E_V = 1 - E_S}$ - вероятность того, что слот не будет заполнен при оценивании.

Идеальный актор –

гипотетический актор, у которого параметры $\boldsymbol{G_N = 0}$ и $\boldsymbol{E_R = 1}$. Это понятие носит вспомогательный характер и используется для формулирования теорем и выводов теории.

Уровни знаний в цехе. Граф компетенций актора





Узел i-го уровня связан с несколькими узлами низлежащего уровня, один из которых есть узел i-1 уровня

0 – начальный уровень

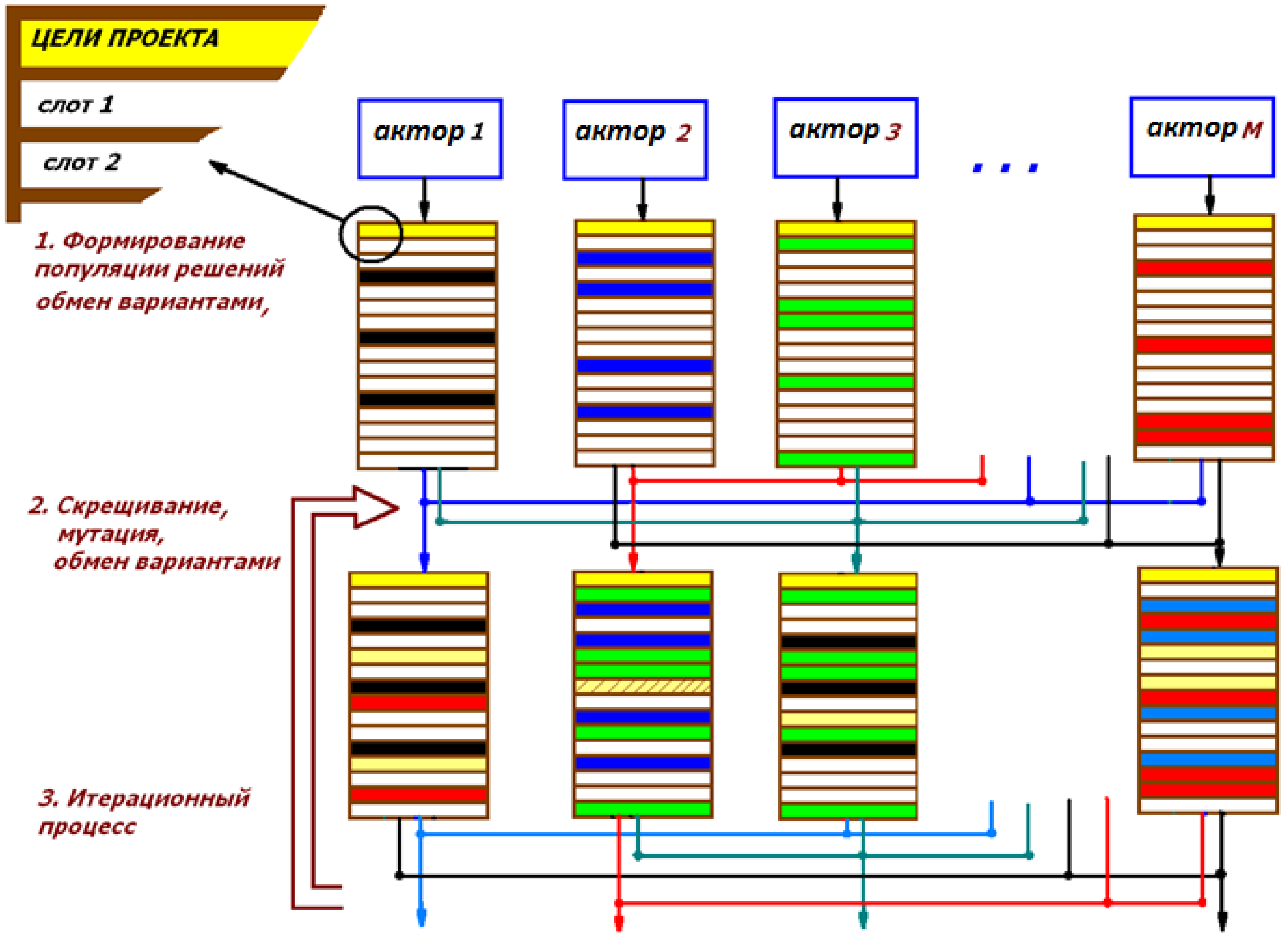
1-5 – уровни знаний

о - истинные кванты знания или процедуры

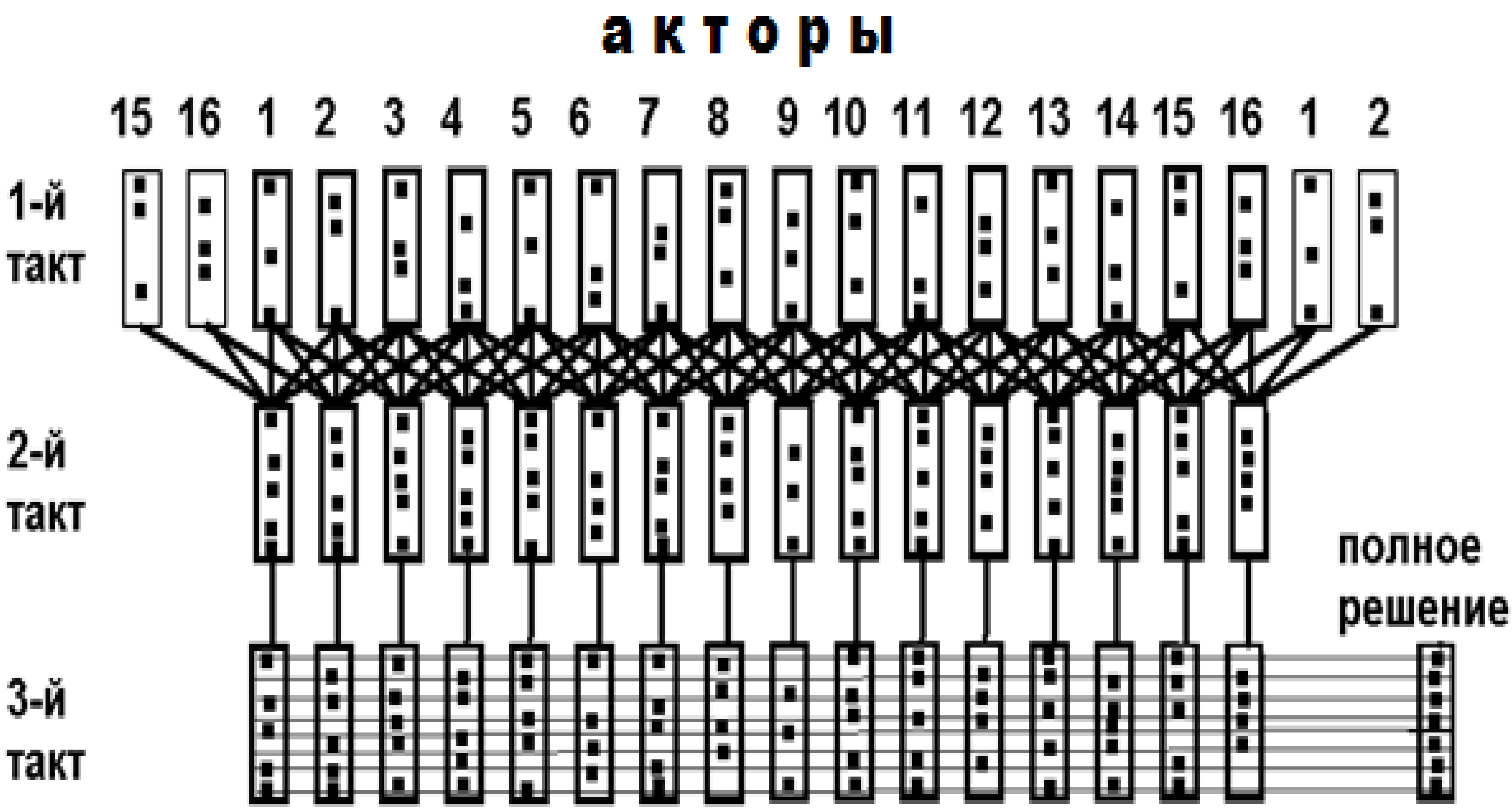
● - квант знания или процедура, которые актор запомнил без вывода

● - квант знания или процедура, усвоенные с ошибками

Схема работы системы коллективного интеллекта



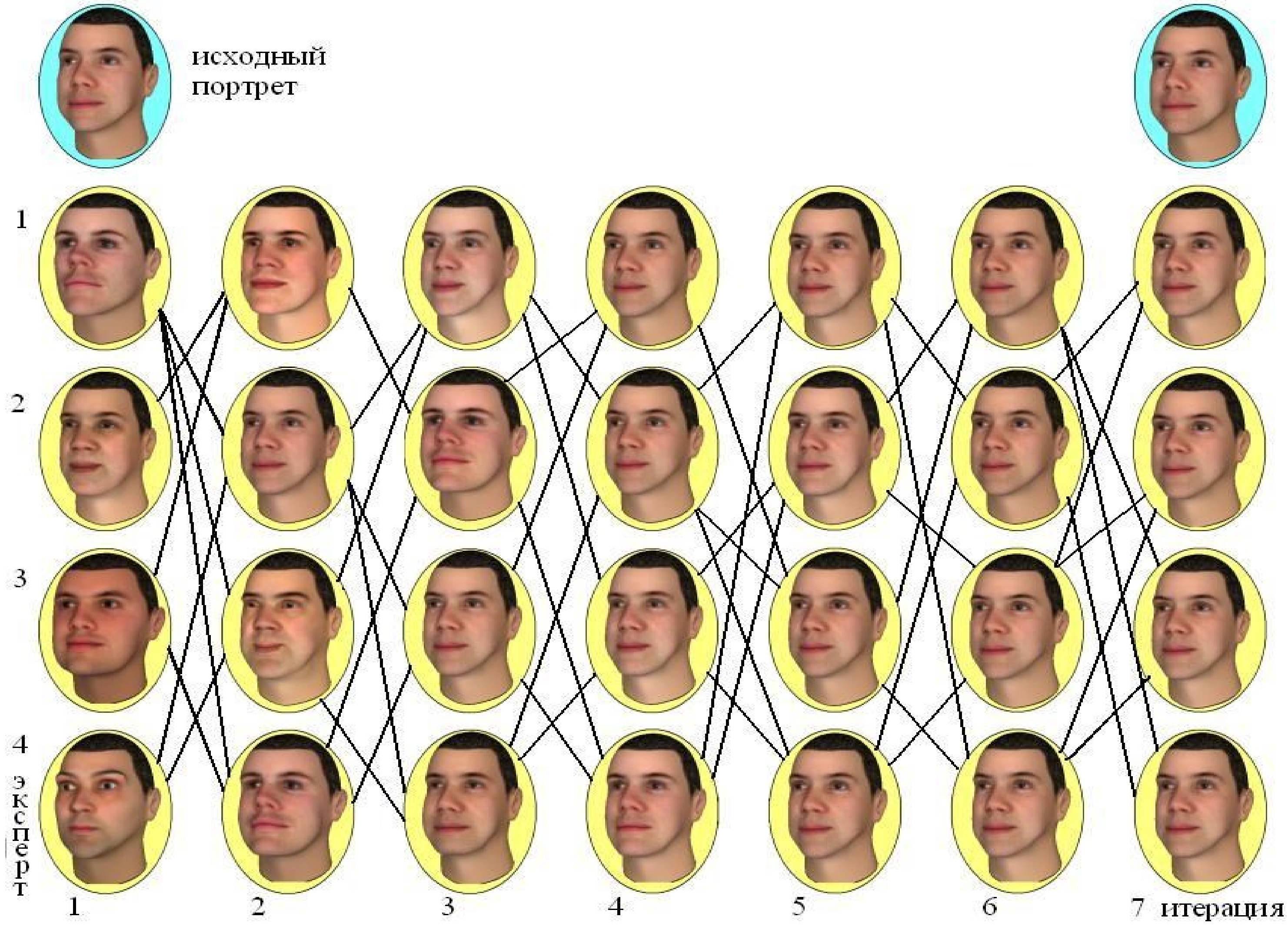
Трехтактный «усилитель» интеллекта



Технология самоуправляемого краудсорсинга

Из последовательно регистрирующихся на сайте проекта акторов образуются небольшие группы акторов. Им отправляются задание на заполнение слотов проекта с объявленной целью. После завершения первого этапа и получения чужих вариантов на экспертизу, акторы приступают к их оцениванию. «Правильные» на их взгляд слоты чужих вариантов они копируют в свои слоты, где были ответы «не знаю». Специально составленная программа – модератор проекта – по результатам анализа первых двух этапов выделяет лучших акторов с наиболее высокими характеристиками по оцениванию чужих вариантов, и из них формирует новые группы. Этим группам на экспертизу даются лучшие варианты предыдущего поколения акторов, и цикл оценивания повторяется. Далее из этих групп вновь выделяются лучшие акторы, и процесс повторяется до тех пор, пока из большого количества акторов не будет выделена финальная группа лучших акторов и ими будет получен последний, самый полный вариант проекта.

Примеры использования МЭС
Составление фоторобота

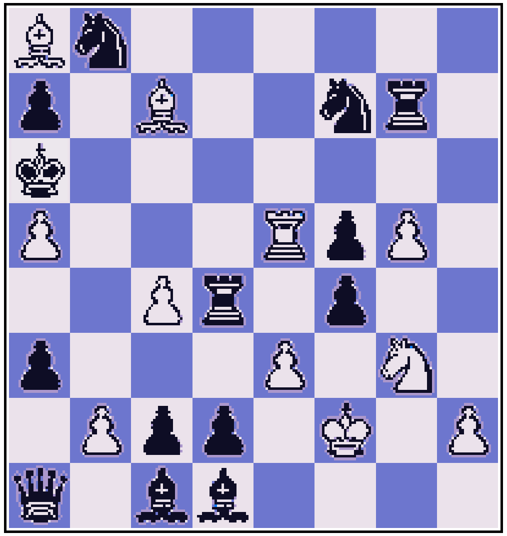


Измерение IQ

Дата	28.08.2001	28.08.2001	20.03.2002	18.02.2003	25.12.2009
Число студ.	4	4	6	4	10
IQ min	120	100	95	105	115
IQ средн.	143	112	118	127	130
IQ max	170	120	140	155	140
IQ МЭС	215	180	195	185	200
IQ мэс –IQ ср.	72	68	77	58	70

Сравнительная таблица измерений IQ МЭС в экспериментах 2001-2009 г.г.

Решение шахматных задач



1	2	3	4	5	6
1. b2-b4 f4-g3+ 2. h2-g3 d4-f4+ 3. g3xf4 a1xe5 4.f4xe5 f7-d6 5. e5xd6 g7xc7 6. d6xc7 d1-g4 7. 7xb8=N++	1. b2-b4 f4xg3+ 2. h2xg3 d4-f4+ 3. g3xf4 a1xe5 4.f4xe5 f7-d6 5. e5xd6 g7xc7 6.d6xc7 d1-f3 7. 7-b8++	1. b2-b4 f4- g3+ 2. h2-g3 d4-f4+ 3. g3-f4 a1- e5 4.f4-e5 f7-d6 5. e5-d6 g7- c7 6. d6-c7 d1-g4 7. 7-b8++	1. b2-b4 f4-g3+ 2. h2-g3 d4-f4+ 3. g3-f4 a1-e5 4.f4-e5 f7-d6 5. e5-d6 g7-c7 6. d6-c7 d1-g4 7. c7-b8++	1. b2-b4 f4-g3+ 2.h2-g3 d4-f4+ 3. g3-f4 a1-e5 4. f4-e5 f7-d6 5. e5-d6 g7-c7 6. d6-c7 d1-f3 7. 7-b8++	1. b2-b4 f4-g3+ 2. h2-g3 d4-f4+ 3. g3-f4 a1-e5 2. f4-e5 f7-d6 5. e5-d6 g7-c7 6. d6-c7 d1-g4 7. 7-b8++

1.b4! (2.b5?) 1...fg+ 2.hg Лf4+ 3.gf Ф:e5! 4.fe Кd6! 5.ed Л:c7! 6.dc Cf3! 7.cbКx.

Мат в семь ходов.

Перевод текстов группой автоматических переводчиков

Человеческое право необходимо, они делают чувство и predestination. Нет вопроса всех абстрактных значений которые были подуманы вне фанатическим бой для личного добра вольности внутри - обеспеченных западных обществ. Наблюдать правами человека помогает повысить жизнь каждого из нас делая его более безопасным. В тоже время оно не значит spineless обработку обидчиков. Нарушение закона большая проблема практически всех обществ, и обязанность правительства защитить своих граждан через различное, включая репрессивное, измерения. Но эти измерения должны быть унесены пока наблюдающ правами человека и стандартами превосходства закона. В противном случае они будут шестякины и недействительны также.	Человеческие права существенны, они имеют смысл и предопределение(M). Они - не вопрос любых абстрактных ценностей, которые принесла фанатичная борьба за личную свободу в обеспеченных западных обществах(T). Соблюдение прав человека помогает продвигать жизнь каждого из нас и делать ее более безопасный (R). В то же время оно не делает мягкотелым отношение к преступникам.(T). Нарушения закона являются наибольшей проблемой практически всех обществ, и обязанностью правительства является защита своих граждан с помощью различных, в том числе репрессивных мер(G).Но эти меры должны выполняться при соблюдении прав человека и превосходства норм закона(Y). В противном случае они будут несправедливыми и неэффективным.(G).

Тестовые задачи, решенные в 2000-2016 годах группами специалистов с использованием МЭС

- Решение многокритериальной задачи назначения специалистов на подходящие для них должности;
- Определение способностей специалистов для работы в группе;
- Моделирование целесообразных действий группы роботов;
- Разработка стратегии развития предприятия;
- Составление инвестиционного портфеля;
- Обучение в группах, тестирование знаний:
- Получение переводов текста среднего качества специалистами с низким уровнем знания иностранного языка;
- Перевод текстов группой автоматических переводчиков;

- Составление рефератов, написание научной статьи группой соавторов;
- Составление конспекта лекций группой студентов;
- Составление субъективного портрета (фоторобота) коллективом свидетелей;
- Составление словесного описания субъективного портрета;
- Решение трудных шахматных задач группой начинающих шахматистов;
- Решение задачи коммивояжера группой студентов;
- Измерение IQ студентов и групп студентов на протяжении длительного времени;
- Испытание методики самоуправляемого иерархического краудсорсинга на вербальных тестах Айзенка;
- Составление концепции развития Уральской медицинской академии группой ординаторов и аспирантов.

Примеры использования и внедрения МЭС в промышленности

1. Дистанционный экологический мониторинг по определению химического состава выбросов промышленных предприятий
2. Использование метода эволюционного согласования решений в управлении проектами на предприятии
3. Оценивание компетентности специалистов горнодобывающего предприятия
4. Выбор оборудования для производства новой продукции на промышленном предприятии ОАО «Ставропласт»
5. Применение информационной технологии эволюционного согласования для решения задач вероятностного анализа безопасности и оценок риска на объектах атомной промышленности

Основы теории систем коллективного интеллекта на базе МЭС

Модель Георга Раша. Примем, что проектом считается совокупность тестовых вопросов различной трудности (слотов) с заранее известными единственными правильными ответами и что для идеальных акторов выполняется модель Раша.

Обозначим $\boldsymbol{b}$ – подготовленность испытуемого, $\boldsymbol{t}$ - трудность задания.

Предполагается, что $\mathbf{0} \leq \boldsymbol{b} < \infty$ и $\mathbf{0} \leq \boldsymbol{t} < \infty$.

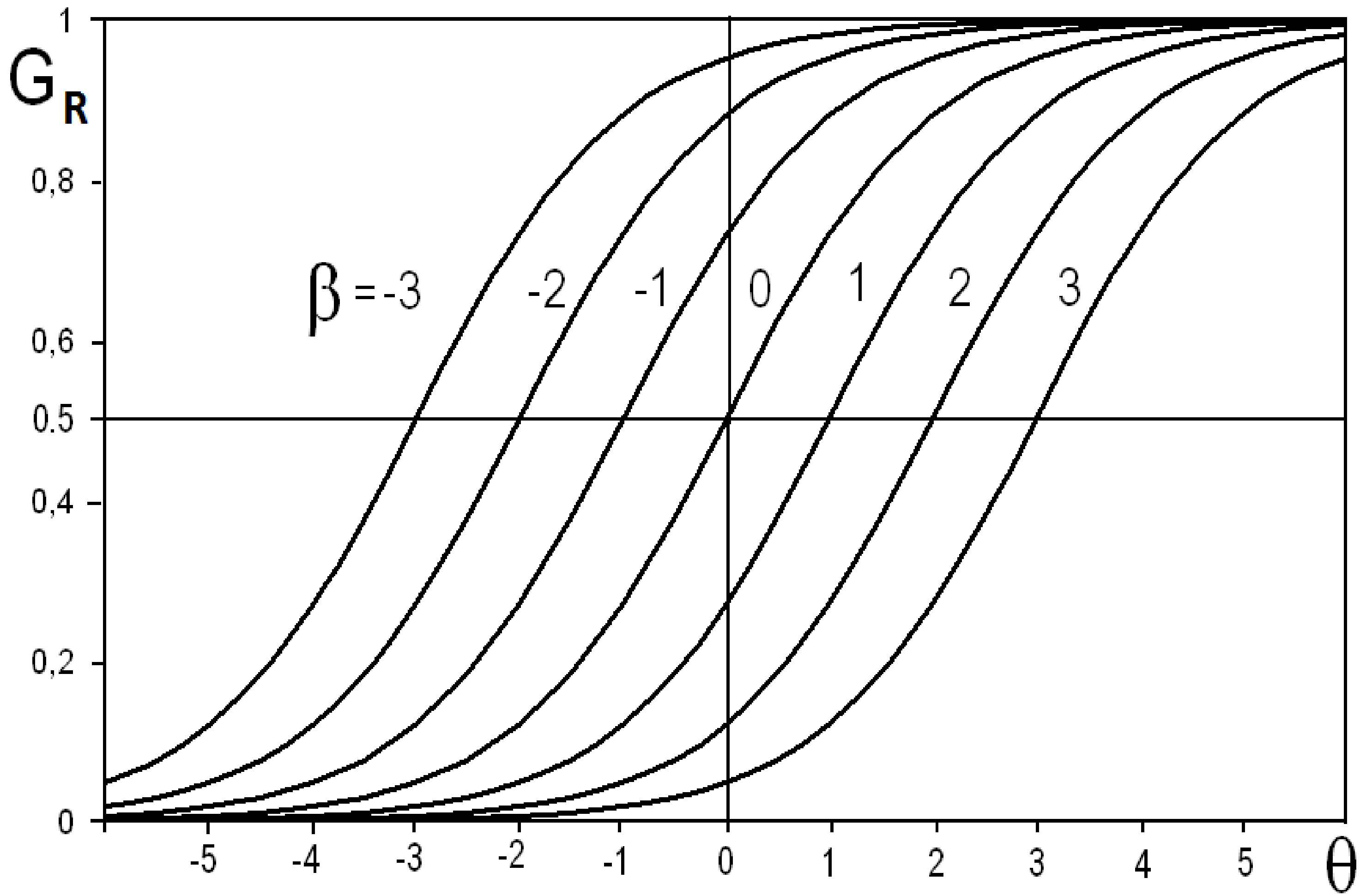
Вероятность $\boldsymbol{G_R}$ правильного заполнения слота трудности t определяется по формуле:

$$\boldsymbol{G_R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1}+\boldsymbol{e}^{\boldsymbol{\beta}-\boldsymbol{\theta}}}\,, \qquad \textbf{(1)}$$

где $\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{ln\, b}$ и $\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{ln\, t}$.

Модель Раша обеспечивает независимость измерений испытуемого от трудности задания.

Зависимость вероятности правильного ответа эксперта от трудности задачи β и подготовленности θ



Теоремы и леммы об акторах

На основе положений теории вероятностей и модели Раша доказаны ряд лемм и теорем и выведены формулы, позволяющие количественно определять такие понятия, как цена задачи, стоимость труда актора, и обосновать систему единиц измерений этих величин.

Пусть **x= (β – θ)**;

$\boldsymbol{G_R}$ – вероятность правильного решения задачи одним актором;

$\boldsymbol{q}$ – вероятность правильного решения задачи группой из $\boldsymbol{M}$ акторов ;

выполняется предположение: если хотя бы один из акторов группы правильно решил задачу, считается, что и групповой актор решил ее.

$$\boldsymbol{q = 1 - (1 - G_R)^M} \qquad (2)$$

$\boldsymbol{M_0}$– число акторов, решающих задачу с вероятностью ***q*** при ***x=0*;**

Затраты труда, направленные на решение задачи с заданной вероятностью ***q*,** измеряются в единицах интеллектуального труда (ИНТ),

1 ИНТ – затраты интеллектуального труда одного актора, у которого подготовленность *t=1* (θ*=0)* при решении задачи трудностью *b=1* (β*=0)*;

Z(*θ*) – стоимость труда актора с подготовленностью **θ**, измеряется в ИНТ, ***Z(0)=1*** ИНТ;

S(*β*) – цена задачи трудности **β.** $\boldsymbol{S(0) = M_0}$

F(x) – отношение затрат интеллектуального труда ***M*** акторов с подготовленностью **θ** к цене задачи трудности **β.**

Лемма 1

Если **β = θ,** то для правильного решения задачи с вероятностью $\boldsymbol{q}$ число акторов

$$\boldsymbol{M_0 = -\frac{ln(1-q)}{ln\,2}.} \qquad (3)$$

<u>Доказательство.</u>

Подставим $\boldsymbol{G_R}$ из (1) в (2), и после преобразований получим выражение для *M*:

$$\boldsymbol{M = -\frac{\ln(1-q)}{\ln(1+e^{-x})}} \qquad (4)$$

При ***x=0*** получаем выражение (3), что и доказывает лемму.

Из (3) и (4) получим

$$\boldsymbol{M = M_0\,\frac{ln2}{ln(1+e^{-x})}}\ , \qquad (5)$$

Лемма 2

При $x \to 0$ функцию $M = M_0 \dfrac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}$ можно заменить показательной функцией вида

$$M = M_0 C^x, \qquad (6)$$

с основанием *C*, равным:

$C = e^{\frac{1}{2\ln 2}}$=2.05720346….

<u>Доказательство.</u>

Возьмем предел от функции $\left(\dfrac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}\right)^{\frac{1}{x}}$, при $x \to 0$, получаем:

$$\lim_{x\to 0}\left(\frac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}\right)^{\frac{1}{x}} = e^{\frac{1}{2\ln 2}}.$$

Поскольку этот предел равен константе, то в окрестностях абсциссы $x \to 0$ (5) ведет себя, как показательная функция и ее можно заменить выражением (6), что и требовалось доказать.

Теорема 1

Цена правильного решения задачи сложности β с заданной вероятностью q равна

$$\boldsymbol{S(\beta) = \frac{ln\frac{1}{1-q}}{ln2}\, C^{\beta}}\ , \qquad (7)$$

а стоимость интеллектуального труда актора с подготовленностью θ равна

$$\boldsymbol{Z(\theta) = C^{\theta}} \qquad (8)$$

<u>Доказательство.</u>

Зависимости *S*(β) и *Z*(θ) с учетом возможности замены (5) выражением (6) можно получить из следующего итерационного процесса:

При β=*0* и θ=*0* с учетом того, что *Z(0)=1* $M = M_0$ $S(0) = M_0 Z(0) = M_0$

При β= $\alpha \to 0$ и θ=*0* согласно (6) $M = M_0 C^{\alpha}$ $S(\alpha) = M_0 C^{\alpha} Z(0) == M_0 C^{\alpha}$

При β=*α* и θ= *α* $M = M_0$ $Z(\alpha) = \frac{S(\alpha)}{M_0} = C^{\alpha}$

При β= *α* и θ=*2α* $M = M_0 C^{\alpha}$ $S(2\alpha) = M_0 C^{\alpha} Z(\alpha) = M_0 C^{2\alpha}$

При β= 2*α* и θ=*2α* $M = M_0$ $Z(2\alpha) = \frac{S(2\alpha)}{M_0} = C^{2\alpha}$

Или для целых ***n*** $S(n\alpha) = M_0 C^{n\alpha}$ $Z(n\alpha) = C^{n\alpha}$

Теорема 2

a)Если $x=0$ и число акторов определено из выражения $M_0 = -\frac{\ln(1-q)}{\ln 2}$,

то в этом, и только этом случае затраты на решение задачи являются минимальными, $F(0)=1$.

b) Если $|x| \to \infty$, то $F(x) \to \infty$.

c) Если $|x| < 1$, то $F(x) < 1.1$.

Доказательство пункта а) теоремы 2

Если $|x| \neq 0$,то для расчета затрат на решение задачи группой из *M* акторов нужно применять выражение (5). Сравним эти затраты с полученными из выражений (7) и (8). Для этого представим функцию затрат *F(x)*

$$F(x) = \frac{MC^{\theta}}{M_0 C^{\beta}} = \frac{\ln 2 e^{\frac{-x}{2\ln 2}}}{\ln(1+e^{-x})} . \qquad (9)$$

Эта функция обладает следующими свойствами:

1. *F(x)>0*, $\quad -\infty < x < \infty$

2. Производная функции равна:

$$F^{I}(x) = -\ln 2 \frac{e^{-\frac{x}{\ln 4}}((1+e^{x})\ln(1+e^{-x}) - \ln 4)}{\ln 4(1+e^{x})\ln^{2}(1+e^{\ x})} , \quad (10)$$

Приравнивая производную к нулю,

определяем единственное значение x=0, где функция *F(x)* имеет минимум, а сама функция *F(0)=1*. Следовательно, пункт а) теоремы 2 доказан.

Доказательство пунктов b) и c) теоремы 2

Применяя к (9) правило Лопиталя, и определяя пределы отношения производных от функций числителя и знаменателя при $x \to \infty$ и $x \to -\infty$, доказываем справедливость пункта b) теоремы.

Подставляя в (9) вместо F(x) значение 1.1 и решая получившееся уравнение, находим два корня $x_1 = -1.07608...$ и $x_2 = 1.1545...$. Поскольку у функции F(x) между этими точками находится единственный минимум, то зона оптимального решения задачи с небольшим превышением затрат над минимально возможными, попадает в диапазон, задаваемый неравенством в пункте c) теоремы.

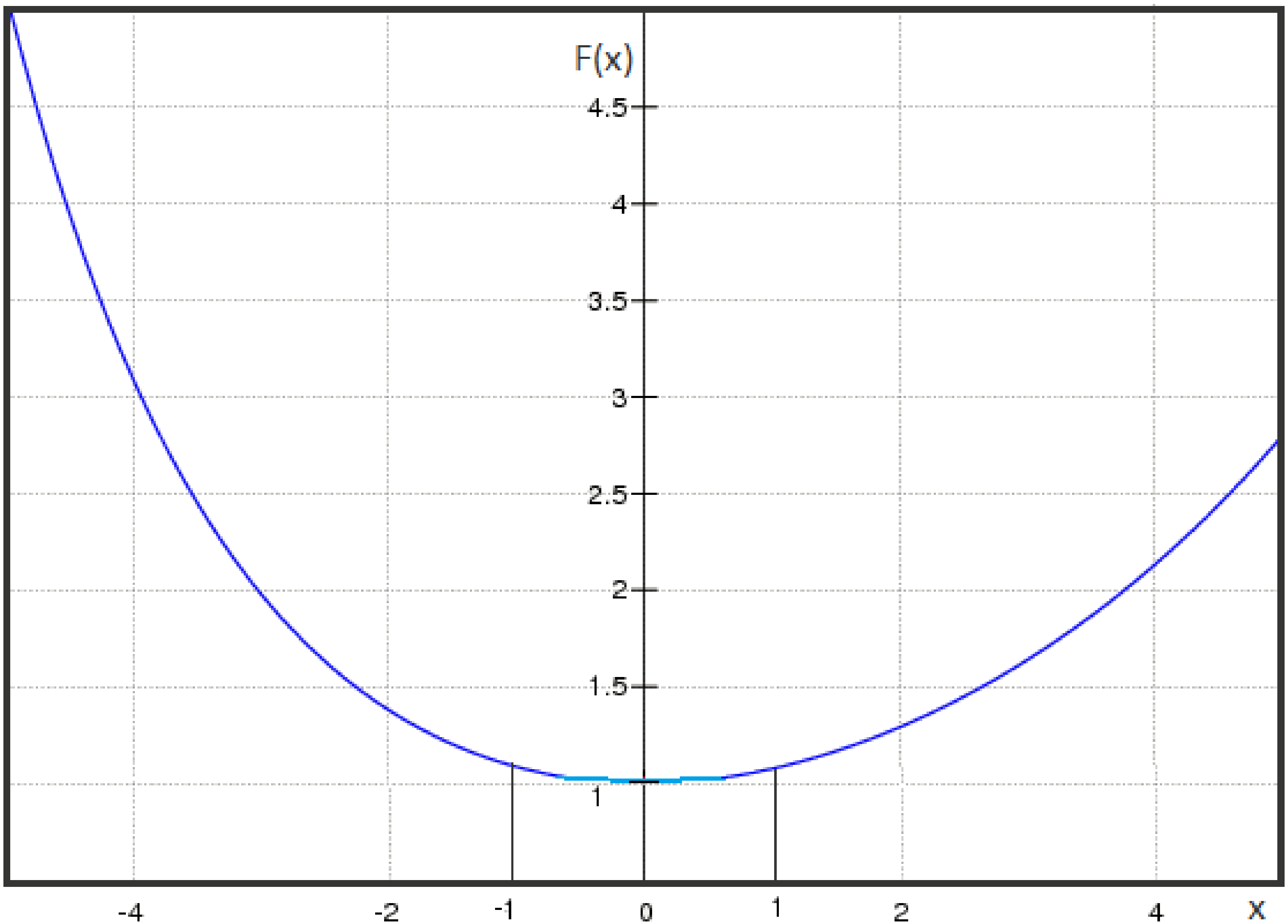


Рис.2. График функции затрат на решение задачи *F(x)*

Теорема 3

Для произвольной группы из M акторов существует задача с пределом трудности β_G, при превышении которого группа из M акторов не в состоянии решить эту задачу с заданной вероятностью q.

<u>Доказательство.</u>

Поскольку в общем случае подготовленность акторов разная, то каждый из них может решить задачу трудности β с вероятностью p_i, определяемой по формуле Раша

$$p_i = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta_i}}$$ для *i=1,2,3…M.*

Выражение для вероятности правильного решения задачи группой акторов будет выглядеть следующим образом

$$q = 1 - \prod_{i=1}^{M}\left(1 - \frac{1}{1+e^{\beta-\theta_i}}\right) = 1 - \prod_{i=1}^{M}\frac{1}{1+e^{\theta_i-\beta}} \qquad \textbf{(11)}$$

Поскольку каждый сомножитель в правой части (11) представляет собой монотонно возрастающую функцию от аргумента β, то и их произведение является монотонно возрастающей функцией. Эта функция, следовательно, может иметь только одну точку пересечения с постоянной 1-q , величина которой заведомо находится в интервале области существования монотонно возрастающей функции. Теорема, таким образом, является доказанной.

Решая обратную задачу из (11) для наперед заданной величины q можно определить, величину предельного значения трудности задачи β_G . При одинаковой подготовленности акторов θ можно получить явное выражение для этой величины:

$$\beta_G = \theta - \ln((1-q)^{\frac{-1}{M}} - 1) \qquad \textbf{(12)}$$

Результаты оценочных расчетов цены задачи и ценности специалиста для различных значений трудности задачи и подготовленности акторов

		β	-7	-1	0	1	7
		S(β)	0.078125	5.0	10.0	20.0	1280.0
θ	Z(θ)						
-7	0.007812		10 0.0078125	2800 0.00179	7605 0.00131	20666 0.000968	8355822 0.000153
-1	0.5		2 0.0391	10 0.5	20 0.5	55 0.36364	20666 0.061937
0	1.0		1 0.078125	5 1.0	10 1.0	20 1.0	7605 0.16831
1	2.0		1 0.078125	4 1.25	5 2.0	10 2.0	2800 0.4571
7	128.0		1 0.078125	1 1.25	1 10.0	2 10.0	10 128.0

Обсуждение

Анализ результатов, полученных для различных комбинаций параметров **θ** и **β** при заданной вероятности правильного решения, не меньшей, чем 0.998098, показывает, что любому актору с подготовленностью **θ** невыгодно участвовать в решении простых задач при **β< θ–1** одному, или в составе малой группы (***M<5***).

Так же не выгодно работать в составе больших групп (***M>20***) над решением трудных задач с **β>θ+1**. Выгоднее всего работать в группах от 5 до 20 акторов над решением задач, трудность которых находится в пределах от **θ–1** до **θ+1**.

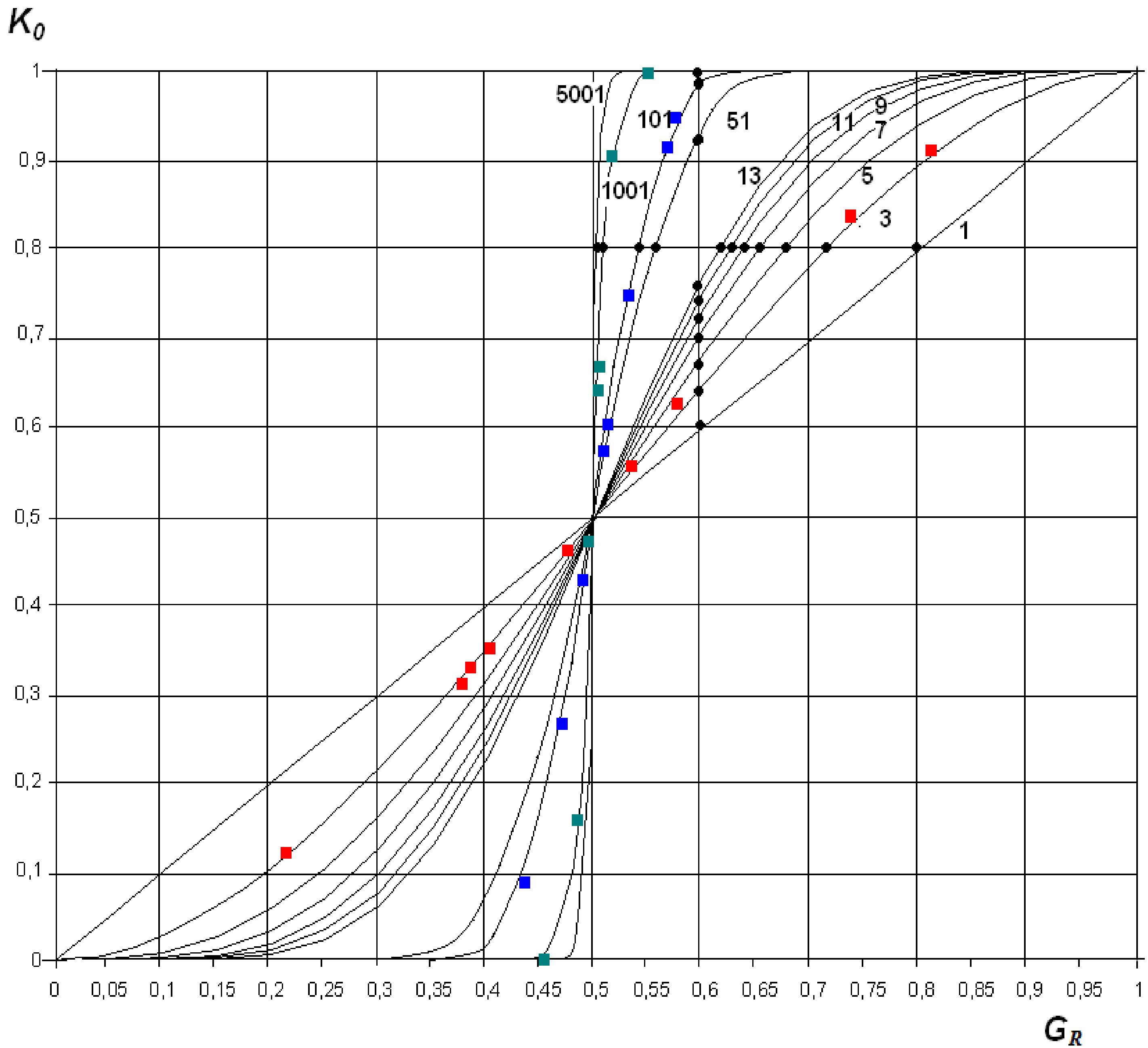
Расчеты по формуле Раша показывают, что обучение специалистов выгодно: при увеличении вероятности правильного ответа на 1% ценность специалиста возрастает на 1.44%.

Теорема Кондорсе

Пусть одно из двух решений, предлагаемых группой присяжных, правильное, и присяжный в среднем чаще голосует за правильное решение. Утверждается, что вероятность вынесения правильного решения большинством голосов растёт с числом присяжных и стремится к 1.

$$K_0 = \sum_{i=0}^{\frac{M-1}{2}} C_M^i G^{M-i} (1-G)^i \qquad (13)$$

Из анализа (13) видно, что при $\boldsymbol{G_R < 0.5}$ и $\boldsymbol{M} \to \infty$ вероятность принятия правильного решения $\boldsymbol{K_0} \to \boldsymbol{0}$, то есть при $\boldsymbol{G_R = 0.5}$ существует некий «барьер», который не может преодолеть группа даже при большом числе участников.



K0
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
0,35
0,4
0,45
0,5
0,55
0,6
0,65
0,7
0,75
0,8
0,85
0,9
0,95
1
GR
5001
1001
101
51
13
11
9
7
5
3
1

Теорема 4

Пусть $\boldsymbol{G_R}$ - вероятность правильного решения актора на стадии генерации решений, $\boldsymbol{G_N}$ - вероятность неправильного решения на этой стадии, $\boldsymbol{E_R}$ - вероятность правильной экспертизы на стадиях согласования решений, $\boldsymbol{E_N}$ - вероятность неправильной экспертизы на этих стадиях.

Докажем, что если выполнено условие

$$\boldsymbol{G_R + \frac{E_R(1-G_R-G_N)}{E_R+E_N} > 0.5},$$

то вероятность правильности ответа, полученного большинством голосов, стремится к единице при увеличении числа акторов и этапов согласования.

Доказательство

Предположим, что группа акторов подвергается тестированию. Заранее подготовлен тест, состоящий из ряда вопросов одинаковой трудности. На каждый вопрос существует несколько возможных ответов и только один из них правильный.

Рассмотрим следующую процедуру принятия решения акторами при тестировании:

Этап 0 – формирование частных решений. На этом этапе каждый актор дает правильный ответ с вероятностью $0 < G_R < 0.5$, неправильный ответ с вероятностью $0 < G_N < 0.5$ или дает ответ «не знаю» с вероятностью $G_v = 1 - G_R - G_N$. Поскольку $G_R > 0$, вероятность того, что при числе акторов $M \to \infty$ хотя бы один актор даст правильный ответ, стремится к единице. Для того, чтобы найденные на этом этапе правильные ответы стали ответом группы, применим процедуру поэтапного согласования решений.

Этапы 1,2,…,Т – согласование решений. На этих этапах актор, не ответивший на заданный вопрос на предыдущем этапе, выбирает из предъявленного ему списка ответов других акторов правильный ответ с вероятностью E_R, неправильный с вероятностью E_N или с вероятностью $E_V = 1 - E_R - E_N$ дает ответ «не знаю».

На этапе формирования частных решений число акторов P_0, давших правильный ответ (подгруппа *P*), составит $G_R M$, число акторов N_0, давших неправильный ответ (подгруппа *N*), составит $G_N M$, а число акторов V_0, давших ответ «не знаю» (подгруппа *V*), составит $G_V = (1 - G_R - G_N)M$.

На этапах согласования акторы из подгруппы *V* будут присоединяться к подгруппам акторов *P* и *N* пропорционально величинам E_R и E_N, а подгруппа *V* будет уменьшаться при этом пропорционально $E_V = 1 - E_R - E_N$. Обозначим через P_i, N_i и V_i число акторов в соответствующей подгруппе на *i*-м этапе согласования.

1-й этап: $P_1 = (G_R + E_R G_V)M$, $N_1 = (G_N + E_N G_V)M$, $V_1 = E_V G_V M$.

2-й этап:

$$P_2 = (G_R + E_R G_V + E_R E_V G_V)M,\ N_2 = (G_N + E_N G_V + E_N E_V G_V)M,\ V_2 = E_V^2 G_V M$$

…

i-й этап:

$$P_i = G_R M + E_R G_V M \sum_{k=0}^{i-1} E_V^k,\ N_i = G_N M + E_N G_V M \sum_{k=0}^{i-1} E_V^k,\ V_i = E_V^i G_V M$$

…

T-й этап:

$$P_T = G_R M + E_R G_V M \sum_{k=0}^{T-1} E_V^k,\ N_T = G_N M + E_N G_V M \sum_{k=0}^{T-1} E_V^k,\ V_T = E_V^T G_V M$$

При $T \to \infty$ заменяя сумму $\sum_{k=0}^{i-1} E_V^k$ на ее предельное значение $\frac{1}{1-E_V}$, а последний член геометрической прогрессии V_T на ноль, получим количества акторов, распределившихся по подгруппам *P, N* и *V* следующим образом:

$$P_T = \left(\frac{E_R G_V}{1-E_V}\right) M, \qquad N_T = \left(G_N + \frac{E_N G_V}{1-E_V}\right) M\ , \qquad V_T = 0.$$

Поскольку отношение $\frac{P_T}{M}$ определяет вероятность правильного решения актором задачи при $T \to \infty$, то для $G_R + \frac{E_R}{E_R+E_N} G_V > 0.5$, как и в случае теоремы Кондорсе, правильное решение будет принято большинством группы, следовательно наша теорема доказана.

Для удобства применения в практике и в теоретических исследованиях условие теоремы может быть преобразовано к виду

$$\frac{E_R}{E_N} > \frac{1-2G_R}{1-2G_N}\ . \qquad (14)$$

Следствия из теоремы 4

1. Если у акторов слабые способности по генерации решений ($G_R < G_N$), то для получения группой правильного решения требуется, чтобы они обладали сильными способностями к оцениванию ($E_R > E_N$).
2. Если у акторов сильные способности по генерации решений ($G_R > G_N$), то для получения группой правильного решения они могут обладать слабыми способностями к оцениванию ($E_R < E_N$).

3. Если у акторов и те и другие способности слабые, то они не смогут дать правильного решения. Более того, если число таких акторов будет расти, то результат работы группы будет ухудшаться.

Теорема 5

Пусть на этапе генерации решений каждый актор дает правильное решение с вероятностью $0 < G_R < 0.5$, неправильный ответ с вероятностью $0 < G_N < 0.5$ или дает ответ «не знаю» с вероятностью $G_v = 1 - G_R - G_N$, а на единственной итерации согласования каждому актору, не принявшему решение, дается случайным образом чужое заполненное решение и он с вероятностью E_R не ошибается в определении правильности или неправильности этого решения. При этом если он считает решение правильным, и оно действительно правильное, то его голос добавляется к голосам акторов, нашедших правильное решение на этапе генерации решений. Если он ошибся, то его голос увеличит долю неправильных решений.

Утверждается, что при $\boldsymbol{E_R \frac{G_V}{G_R+G_N} > \frac{1-2G_R}{2G_R}}$ вероятность правильности решения, полученного большинством голосов на итерации согласования, увеличивается с ростом числа акторов и стремится к единице.

Теорема 6

Пусть групповой актор состоит из $\boldsymbol{M}$ одиночных акторов с подготовленностями $\boldsymbol{\theta_{GR}}$, $\boldsymbol{\theta_{GS}}$, $\boldsymbol{\theta_{ER}}$ и $\boldsymbol{\theta_{ES}}$, численные значения которых лежат в интервале $[\boldsymbol{\theta}-\boldsymbol{\delta}, \boldsymbol{\theta}+\boldsymbol{\delta}]$, $\boldsymbol{\theta} \in \boldsymbol{R}$ **и** $\boldsymbol{\delta} \in \boldsymbol{R}$. Здесь $\boldsymbol{\theta_{GR}}$ – подготовленность эксперта по генерации правильных решений, $\boldsymbol{\theta_{GS}}$ – подготовленность эксперта, измеряемая по всем решениям, правильным и неправильным, $\boldsymbol{\theta_{ER}}$ и $\boldsymbol{\theta_{ES}}$ – соответствующие подготовленности при оценивании чужих решений.

Утверждается, что при $\boldsymbol{M} \to \infty$ и $\boldsymbol{\delta} < \mathbf{ln2}$ вероятность $\boldsymbol{Q_N}$ неправильного решения задачи произвольной трудности $\boldsymbol{\beta}$ группой экспертов стремится к нулю.

Доказательство

Из всего множества значений подготовленностей θ_{GR}, θ_{GS}, θ_{ER} и θ_{ES} выберем такие, для которых вероятность получения неправильного решения групповым актором будет максимальной, то есть

$$\theta_{GR} = \theta - \delta, \theta_{GS} = \theta + \delta, \theta_{ER} = \theta - \delta, \theta_{ES} = \theta + \delta. \qquad (15)$$

Согласно модели Раша для соответствующих вероятностей можно записать выражения

$$G_R = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta+\delta}}, G_S = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta-\delta}}.$$

Вероятность ответа «не могу решить»

$$G_V = 1 - G_S = \frac{1}{1+e^{-\beta+\theta+\delta}},$$

$$G_N = G_S - G_R = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta-\delta}} - \frac{1}{1+e^{\beta-\theta+\delta}}. \qquad (16)$$

Такие же выражения с учетом (15) можно записать соответственно для

E_R, E_S и E_N, то есть

$$E_R = G_R, E_S = G_S \text{ и } E_N = G_N \quad . \qquad (17)$$

В конце итерационного цикла согласований при $M \to \infty$ вероятность принятия неправильного решения у одиночного эксперта в составе группы будет

$$P_N = G_N + \frac{E_N}{E_S} G_V \quad . \qquad (18)$$

Подставляя (16) и (17) в (18), после преобразований получим зависимость $P_N(\beta)$:

$$P_N = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta-\delta}} + \frac{1+e^{\beta-\theta-\delta}}{2+e^{-\beta+\theta+\delta}+e^{\beta-\theta-\delta}} \, . \qquad (19)$$

Дифференцируя (19) по β и приравнивая полученное выражение к нулю, получим, что при единственном значении $\beta = \theta$ для любых δ функция (19) имеет экстремум. Поскольку при этом вторая производная от нее в этой точке отрицательна, то делаем заключение, что (19) имеет максимум в этой точке.

Очевидно, что если вероятность принятия неправильного решения одиночного актора в точке максимума меньше 0.5, то и для всего интервала изменения β от $-\infty$ до $+\infty$ эта вероятность также меньше 0.5.

Следовательно, на всем интервале изменения β при $M \to \infty$ согласно теореме Кондорсе вероятность принятия неправильного решения групповым актором Q_N стремится к нулю.

Максимально допустимое значение $\delta = ln2$ определяется из решения уравнения (19) при $P_N = 0.5$.

Выводы из теоремы 6

Если для какого-то класса задач существует база сертифицированных специалистов с известными подготовленностями, то из них можно скомплектовать группу специалистов, которая либо решит задачу из этого класса произвольной трудности правильно, либо даст ответ «не могу решить» при заранее заданной как угодно малой величине вероятности неправильного решения. Во втором случае нерешенная задача может быть передана группе специалистов с более высоким уровнем подготовленности.

Теорема 7

Пусть известны количество акторов $\boldsymbol{M}$, трудность задачи $\boldsymbol{\beta}$, характеристики актора $\boldsymbol{\theta_{GR}}$, $\boldsymbol{\theta_{GS}}, \boldsymbol{\theta_{ER}}, \boldsymbol{\theta_{ES}}$, связанные согласно модели Раша (1) с соответствующими вероятностями $\boldsymbol{G_R}, \boldsymbol{G_S}$, $\boldsymbol{E_R}, \boldsymbol{E_S}$

$$\boldsymbol{G_R = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta_{GR}}}, G_S = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta_{GS}}}, E_R = \frac{1}{1+e^{\beta-\ \theta_{GE}}}, E_S = \frac{1}{1+e^{\beta-\theta_{GS}}}},$$

где $\boldsymbol{G_S = G_R + G_N}, \boldsymbol{E_S = E_R + E_N}$.

Известно также, что $\boldsymbol{\theta_{GR}}, \boldsymbol{\theta_{GS}}, \boldsymbol{\theta_{ER}}, \boldsymbol{\theta_{ES}}$ принадлежат интервалу $[\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\beta + \delta}]$, где $\boldsymbol{0 < \delta < \infty}$.

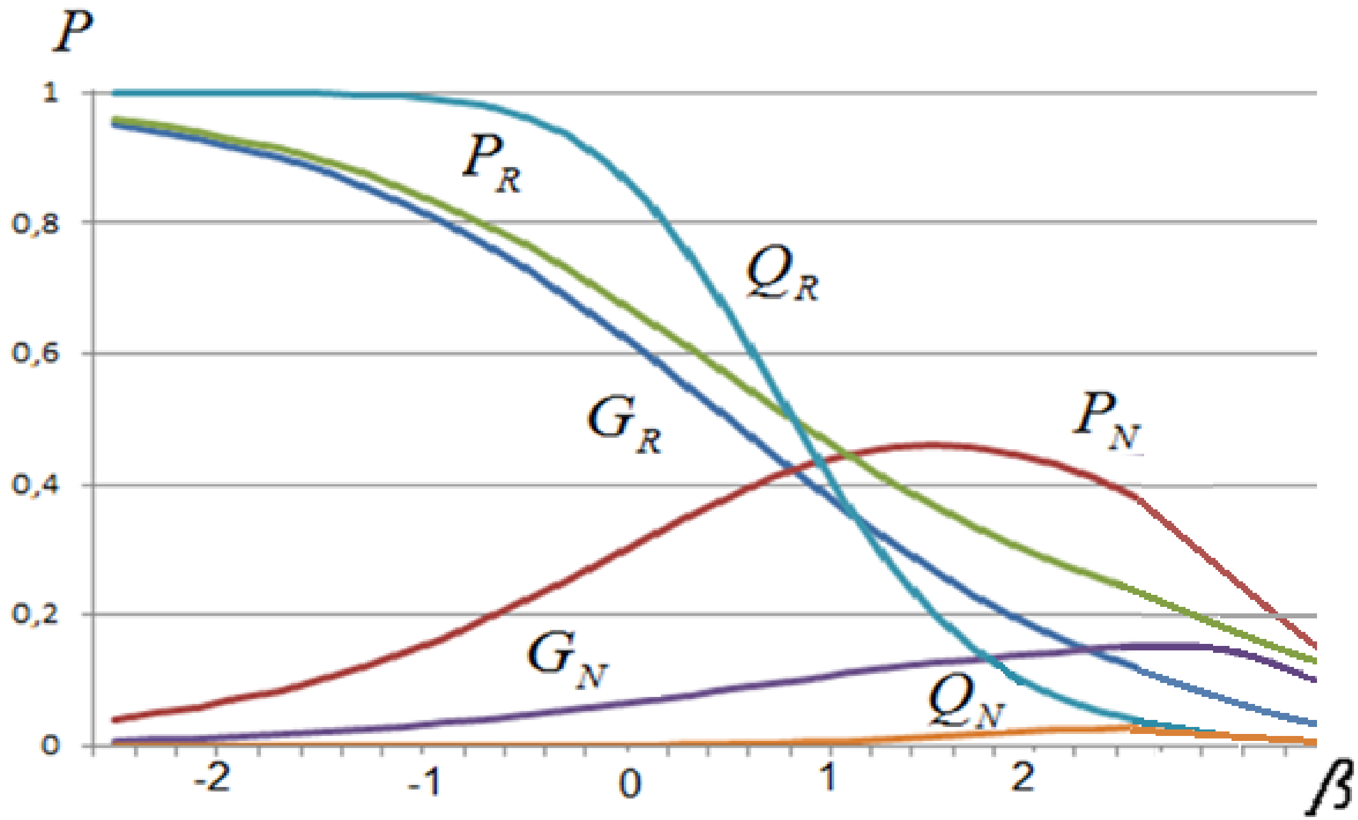
Доказывается : существует такое $\boldsymbol{\delta_C}$, что при $\boldsymbol{\delta = \delta_{\mathrm{C}}}$ вероятность правильного решения группового актора, использующего МЭС,

$$\boldsymbol{Q_R = \sum_{i=0}^{\frac{M-1}{2}} C_M{}^i \, P_R{}^{M-1} (1 - P_R)^i = 1 - (1 - G_R)^M},$$

где вероятность $\boldsymbol{P_R}$ принятия правильного решения у одного актора, работающего в составе группы, на стадии завершения итераций согласования

$$\boldsymbol{P_R = G_R + \frac{E_R}{E_S} G_V\left(1 - G_V{}^{M-1}\right)}, \text{ (здесь } \boldsymbol{G_V = 1 - G_S}\text{).}$$

Зависимости вероятности правильного и неправильного решения задачи акторами



$\boldsymbol{P_R}$ - вероятность правильного решения актора после итераций согласования,

$\boldsymbol{P_N}$ - вероятность неправильного решения,

$\boldsymbol{Q_R}$ - вероятность правильного решения группового актора,

$\boldsymbol{Q_N}$ - вероятность неправильного решения.

Алгоритм сертификации специалистов

T1	β_1	β_2	β_3	β_4	…	β_m
θ_1	0	0	0			
θ_2	0	0				0
θ_4	0					1
θ_5	0					1
…					1	1
θ_n					1	1

$T2$	β_1	β_2	β_3	β_4	…	β_m
θ_1	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{14}	…	G_{1m}
θ_2	G_{21}	G_{22}	G_{23}	G_{24}	…	G_{2m}
θ_3	G_{31}	G_{32}	G_{33}	G_{34}	…	G_{3m}
θ_4	G_{41}	G_{42}	G_{43}	G_{44}	…	G_{4m}
…	…	…	…	…	…	…
θ_n	G_{n1}	…	…	…	…	G_{nm}

$$\beta_i - \theta_j = \ln\frac{1-G_{ji}}{G_{ji}} = C_{ji}$$

1. Задаем первое приближение для θ_j

2. Находим

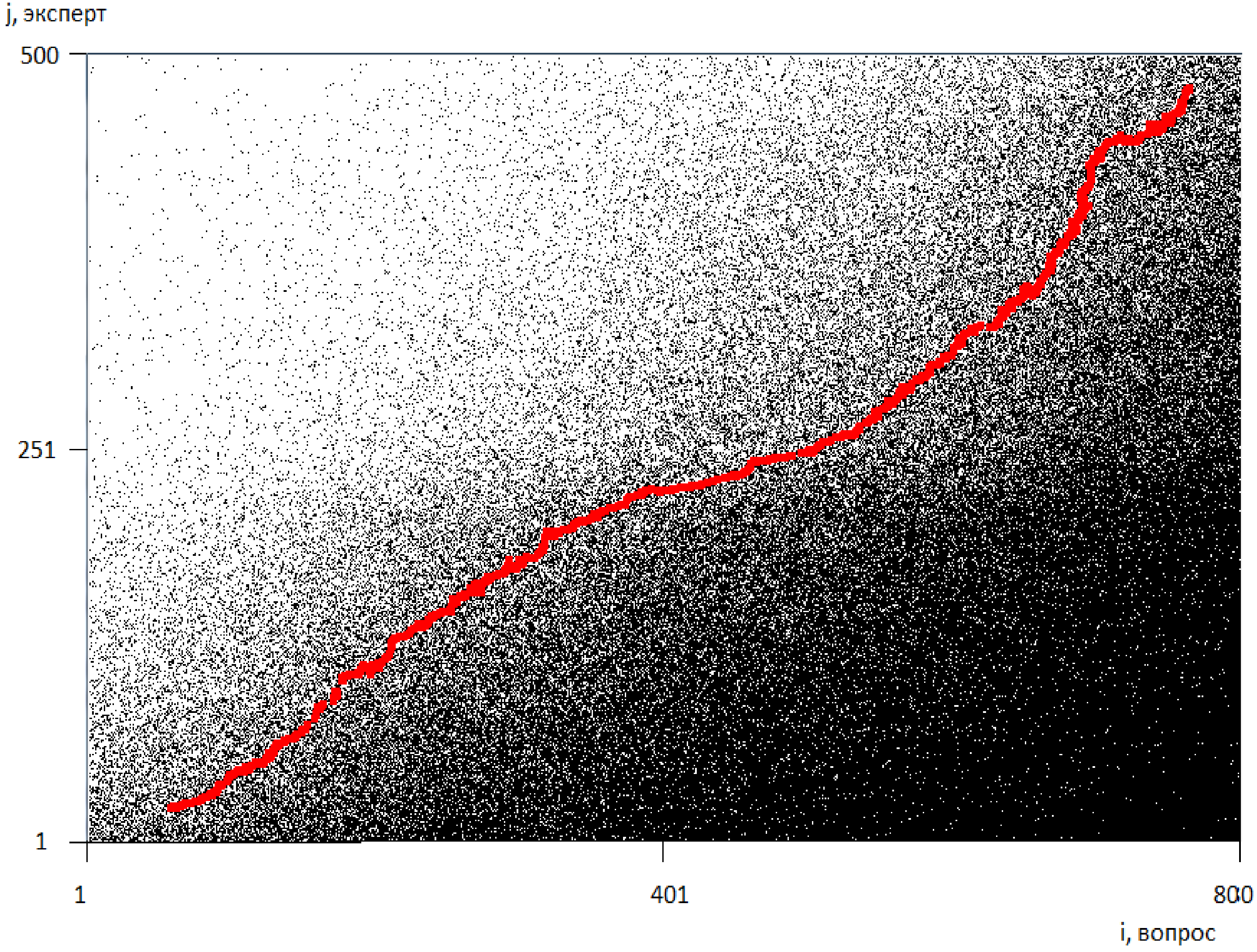
$$\beta_i = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n}\theta_j + C_{ji}$$

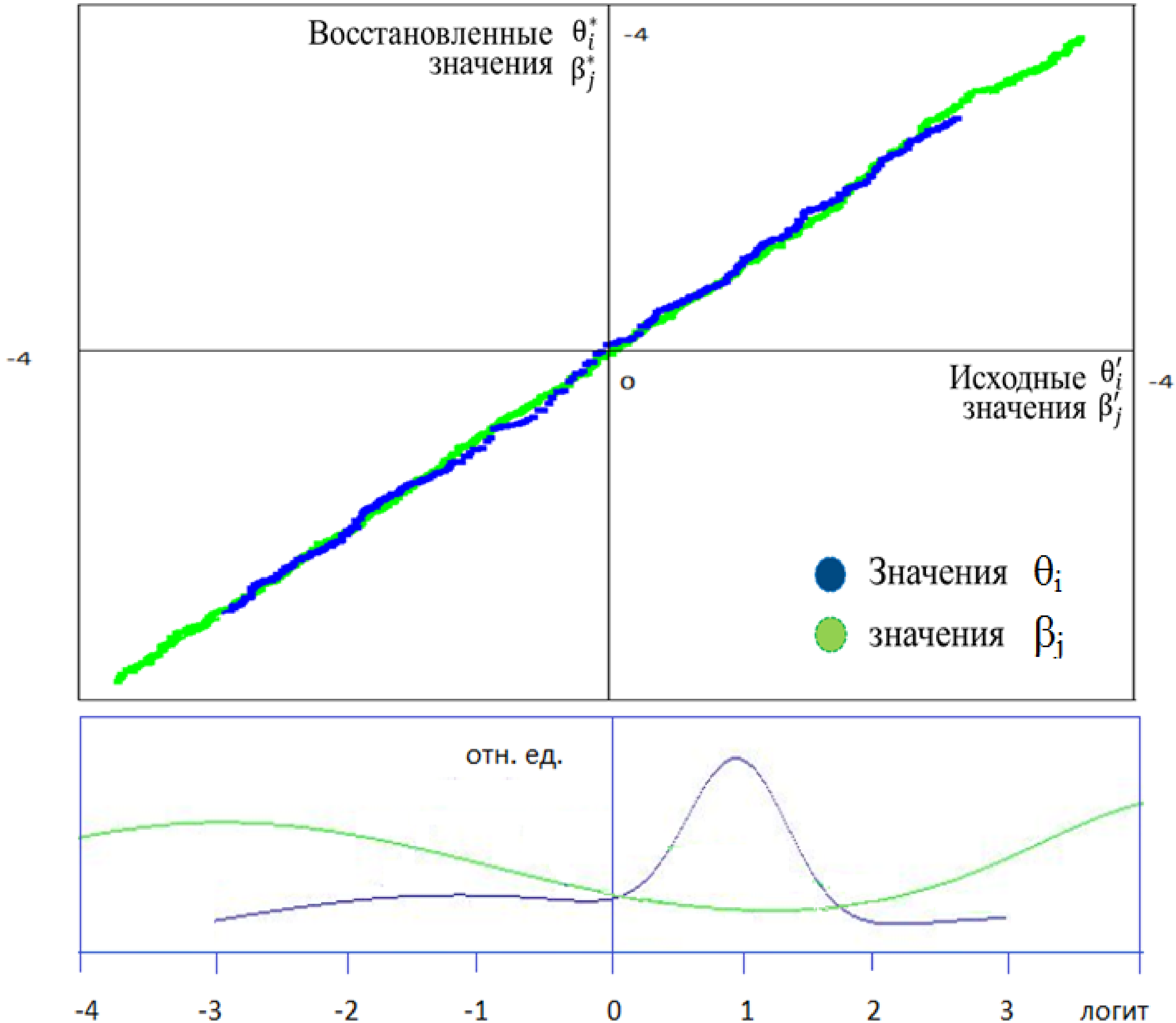
3. Находим следующее приближение

$$\theta_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{m}\beta_i - C_{ji}$$

4. Переходим на п. 2

Результаты компьютерного моделирования процесса сертификации акторов





Восстановленные значения θ_i^* β_j^*
-4
-4
o
Исходные значения θ_i' β_j'
-4
Значения θ_i
значения β_j
отн. ед.
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
логит

Измерение способностей акторов к работе в группах и их ценности в единицах ИНТ

Предположим, что на тестах с открытыми заданиями были вычислены значения трудностей заданий β_i и подготовленностей акторов к генерации ответов $(\theta_{GR})_j$ и $(\theta_{GS})_j$. На тестах с закрытыми ответами были соответственно измерены подготовленности $(\theta_{ER})_j$ и $(\theta_{ES})_j$ (индекс *R* соответствует правильным ответам, а индекс *S* – заполненным- правильным плюс неправильным). Совокупность этих величин и являются «метром» для измерения ценности новых членов цеха. Для нового актора после обработки ответов на закрытых и открытых тестах цеха мы получаем четыре параметра, характеризующие его пригодность для работы в группе - θ_{GR}, θ_{GS}, θ_{ER} и θ_{ES}.

Для определения ценности актора в единицах ИНТ, исходя из этих параметров, можно предложить следующую процедуру. Вычислим величину β_G задачи предельной трудности для группы из 10 таких акторов с вероятностью правильного решения, допустим, q=0.998098.

Вероятности заполнения слотов проекта и вероятности их заполнения правильными решениями для этапов генерации и согласования при трудности задания β_G определяются выражениями:

$G_R = \frac{1}{1+e^{\beta_G - \theta_{GR}}}$, $G_S = \frac{1}{1+e^{\beta_G - \theta_{GS}}}$, $E_R = \frac{1}{1+e^{\beta_G - \theta_{ER}}}$ и $E_S = \frac{1}{1+e^{\beta_G - \theta_{ES}}}$.

Вероятность заполнения слотов правильными ответами после этапа согласований в соответствии с теоремой 4:

$$P = G_R + P_c \, , \qquad (20)$$

где $P_C = \frac{E_R}{E_S}(1 - G_S)(1 - (1 - G_R)^{10})$

составляющая к суммарной вероятности правильного заполнения слота за счет итераций согласования.

В соответствии с теоремой Кондорсе вероятность правильного ответа группы из 10 акторов равна:

$$q = P^{10} + 10P^9(1-P) + 45P^8(1-P)^2 + 120P^7(1-P)^3 + 210P^6(1-P)^4 + 126P^5(1-P)^5 \, .$$

Для q=0.998098 из этого выражения определяем *P=0.8821.*

Для вычисления β_G можно построить следующию реккурентную процедуру:

Задаемся первым приближением $\beta_G = \theta_{GR}$. Преобразуем (20) :

$\frac{1}{1+e^{\beta_G - \theta_{GR}}} = P - P_C$ и запишем рекуррентное выражение для β_G:

$$\beta_G = \theta_{GR} + \ln\left(\frac{1}{P - P_C} - 1\right).$$

Поскольку задачу с трудностью β_G может решить также 10 идеальных акторов с $\theta_{eff} = \beta_G$, то мы считаем, что наш актор с параметрами $\theta_{GR}, \theta_{GS}, \theta_{ER}$ и θ_{ES} обладает ценностью $Z = 2^{\beta_G}$.

Примеры расчетов

θ_{GR}	θ_{GS}	θ_{ER}	θ_{ES}	D	β_G	G_R	G_N	E_R	E_N	Z, INT
0	20	0	0,2	0,8821	-2,012	0,8821	0,1179	0,8821	0,0193	0,2342
0	0	0	0,2	0,8821	0,9484	0,2792	0	0,2792	0,042	1,9821
0	0	0	0	0,8821	1,5393	0,1766	0	0,1766	0	3,0355
0	0,2	0	0	0,8821	1,3967	0,1983	0,0337	0,1983	0	2,7387
0	0,2	0	0,2	0,8821	0,5101	0,3752	0,0479	0,3752	0,0479	1,4447
10	10,2	0	0,2	0,8821	9,7266	0,5679	0,0483	6E-05	1E-05	1114,6
10	10,2	10	10,2	0,8821	10,51	0,3752	0,0479	0,3752	0,0479	1961,4
0	0,2	10	10,2	0,8821	1,3965	0,1984	0,0337	0,9998	3E-05	2,7384
10	10,5	10	10,5	0,8821	9,151	0,7004	0,0936	0,7004	0,0936	735,86
10	10,5	10	10,5	0,5	11,272	0,0663	0,0385	0,0663	0,0385	

Математическая модель МЭС

Допустим, что известны характеристики актора $\boldsymbol{\theta_{GR}}$, $\boldsymbol{\theta_{GS}}, \boldsymbol{\theta_{ER}}, \boldsymbol{\theta_{ES}}$, количество акторов в группе ***M***, трудность задачи $\boldsymbol{\beta}$, число итераций согласования ***T*** и число проверяемых вариантов на стадии согласования ***L.***

Требуется найти вероятность правильного решения задачи

$$\boldsymbol{K_P = f(\theta_{GR}, \theta_{GS}, \theta_{ER}, \theta_{ES}, M, \beta, T, L)}.$$

Используя модель Раша, находим соответствующие вероятности $\boldsymbol{G_R}$, $\boldsymbol{G_S}$, $\boldsymbol{E_R}$ и $\boldsymbol{E_S}$. Далее, исходя из предположения, что функция $\boldsymbol{K_P(T)}$ представляет собой логистическую кривую, что подтверждается экспериментами, находим выражение для искомой зависимости

$$\boldsymbol{K_P = \frac{K_B}{1+\frac{K_S-K_{P0}}{K_{P0}}e^{-C_P T}}},$$

где $\boldsymbol{K_B}$, $\boldsymbol{K_{P0}}$, $\boldsymbol{K_S}$ и $\boldsymbol{C_P}$ - некоторые функции от параметров задачи, полученные с помощью математического аппарата теории вероятностей.

Формула МЭ(• $K_P = \varphi(M, L, G_R, G_N, E_R, E_N, T)$

1. $G_S = G_R + G_N$

2. $K_{P0} = \sum_{i=0}^{\frac{M-1}{2}} C^i{}_M \, G_R{}^{M-i}(1\text{-}G_R)^{\,i}$

3. $K_s = 1 - (1 - G_S)^M$

4. $K_h = 1 - (1 - G_R)^M$

5. $P(1) = G_R + \frac{K_S - G_S}{K_S} G_R E_R L$

6. $P_B = (K_S - G_N)(1 + \left(\frac{K_S G_R}{G_S(K_S - G_N)} - 1\right)\frac{E_N}{E_R})$

7. $T_{0.5} = ln \frac{G_R(2P_B - 1)}{P_B - G_R} ln \frac{P(1)(P_S - G_R)}{G_R(P_S - P(1))}$

8. $K_B = (K_h - G_N)(1 + \left(\frac{K_S G_R}{G_S(K_h - G_N)} - 1\right)\frac{E_N}{E_R})$

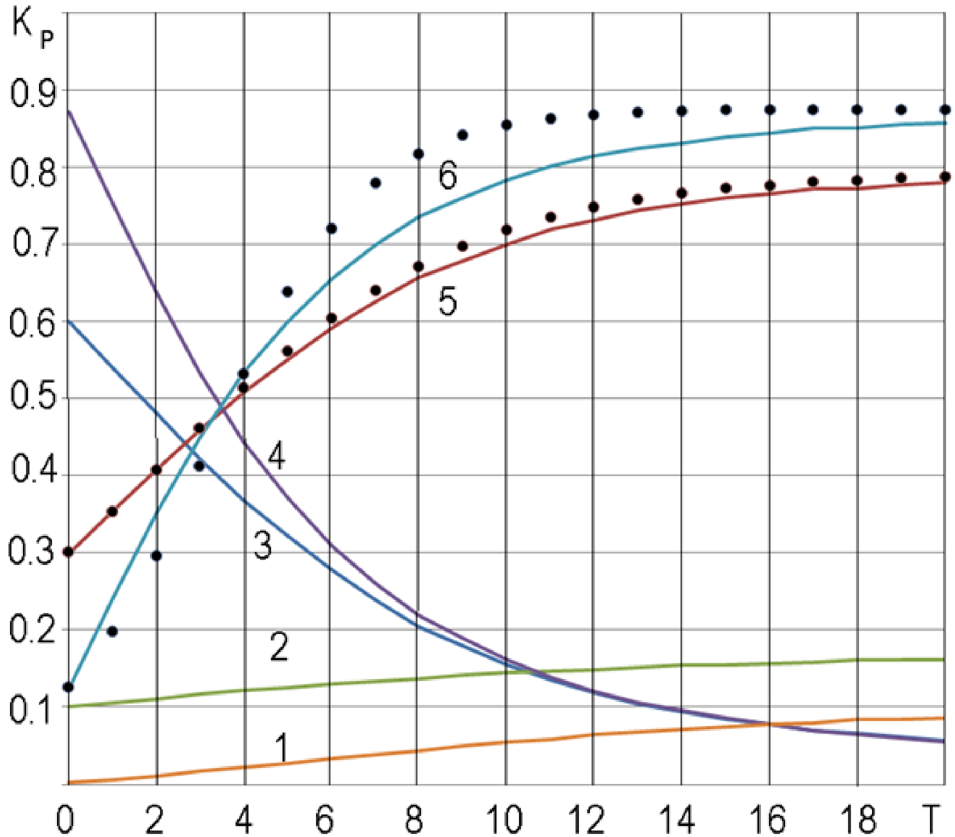
9. $C_P = \frac{1}{T_{0.5}} \ln \frac{K_B - K_{P0}}{K_{P0}(2K_B - 1)}$

10. $K_P = \frac{K_B}{1 + \frac{K_B - K_{P0}}{K_{P0}} e^{-C_P T}}$

Сравнительные результаты расчетов по формуле МЭС и компьютерной модели

Для оценки ошибок приближения, даваемого формулой МЭС, с помощью компьютерной модели проводились расчеты функции K_P в широких пределах изменения ее параметров.

Средняя относительная ошибка описания функции формулой (53) составила 0.042 при максимальной ошибке 0.14. Данные компьютерной модели усреднялись по 1000 реализациям при среднеквадратичном отклонении 0.012.



M=7, *L*=1, $G_R = 0.3$, G_N=0.1 , $E_R = 0.3$, E_N=0.1.

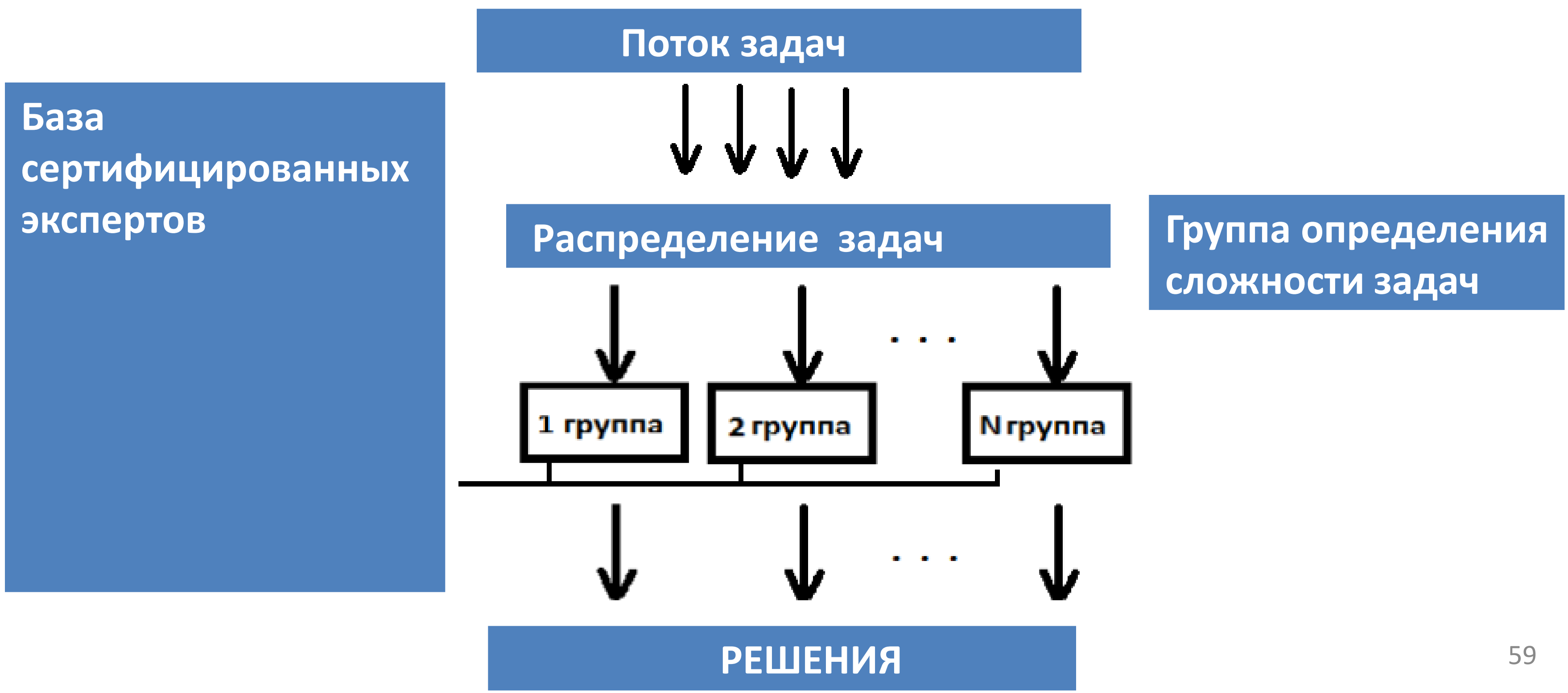
Сплошными линиями представлены зависимости, полученные с помощью компьютерной модели, кружками – результаты расчетов по формулам.

На рисунке представлены следующие функции в зависимости от номера итерации *T*:

1. зависимость относительного числа неправильно заполненных слотов группой акторов,
2. та же зависимость для одиночного актора,
3. зависимость относительной величины незаполненных слотов для одиночного актора,
4. та же зависимость для группы акторов,
5. зависимость относительного числа правильно заполненных слотов одиночным актором,
6. та же зависимость для группы акторов.

Распределение задач между группами экспертов

1 Создание базы тестов различной сложности силами экспертного сообщества
2 Тестирование экспертов
3 Определение относительной сложности тестовых вопросов
4 Определение рейтинга и компетентностей экспертов (сертификация)



Заключение

- Решена проблема создания теории эволюционного согласования решений и оптимизации на этой основе систем коллективного интеллекта для применения в промышленности, управлении и образовании.
- Разработанные положения теории систем коллективного интеллекта позволяют строить эффективные процедуры организации работы в группах и прогнозировать правильность выполнения работ.
- Найдены условия, при соблюдении которых групповой актор может принять неправильное решение с вероятностью, меньшей наперед заданной малой величины.
- В рамках положений теории систем коллективного интеллекта и модели Раша становится возможным введение абсолютной шкалы измерения подготовленностей специалистов и меры трудности задач.
- Введена и обоснована система единиц измерения этих величин, а также их связь с ценой задачи и ценностью актора.
- Решена проблема оптимального распределения потока задач прогнозируемой трудности между группами акторов с известными креативными характеристиками.

Благодарности

Автор признателен докторам физико-математических наук Клименко Станиславу Владимировичу, Сенько Олегу Валентиновичу, Хрусталеву Михаилу Михайловичу, Жданову Александру Аркадьевичу, Алескерову Фуаду Тагиевичу и Ковалеву Сергею Протасьевичу за постоянный интерес к работе и ценные замечания, сделанные ими на разных этапах выполнения данной работы.

Автор выражает также благодарность фонду РФФИ, поддержавшего направление его работы, гранты

№ 05-07-90346-а «Разработка и создание системы распознавания лиц с помощью объемных фотороботов на основе общедоступных установок виртуальной реальности» (руководитель),

№08-07-00447-а «Разработка и исследование методов оценки достоверности результатов восстановления объемных фотороботов на основе общедоступных установок виртуальной реальности» (руководитель),

№ 13-07-00958 «Разработка теории и экспериментальные исследования новой информационной технологии самоуправляемого краудсорсинга» (руководитель),

№ 13-07-00272 «Методика автоматического формирования ассоциативных портретов предметных областей на основе естественно-языковых текстов больших объемов для систем извлечения знаний» (исполнитель),

№16-07-0075 «Исследование и разработка семантических методов построения “Индекса контекстного научного цитирования”» (исполнитель).

Спасибо за внимание

Контакты: 89166457736 protonus@yandex.ru